

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Забегает Н.М., Коротков А.Н.

УрФУ ИРИТ-РтФ, Екатеринбург, Россия

zabegaev.nikita@mail.ru

an.korotkov@urfu.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается схема разработанного измерительного усилителя для лабораторных работ. Он будет применяться для проведения лабораторных работ по предмету “Устройства СВЧ и антенны” для снятия диаграмм направленностей антенн, определения принципов работы волноводных устройств. Использование разработанного устройства позволит не только выиграть в стоимости, по сравнению с аналогами, но и повысить ремонтпригодность при поломке благодаря несложной конструкции. В статье также приводятся полученные результаты экспериментально испытания устройства, его стоимость и дополнительные возможности.

Ключевые слова: Измерительный усилитель, фильтр, микроконтроллер, светодиодная индикация, звуковая индикация, аттенюатор, схема.

DEVELOPMENT OF THE MEASURING AMPLIFIER FOR LABORATORY WORKS

Zabegaev N.M., Korotkov A.N.

UrFU IRIT-RtF, Ekaterinburg, Russia

Abstract. In this work, a diagram of the developed amplifier for laboratory work. It will be used for laboratory work on the subject “Microwave Devices and Antennas” for taking antenna radiation patterns, determining the principles of operation of waveguide devices. The use of the developed device will allow not only to gain in cost compared to analogs, but also to increase the maintainability in case of breakdown due to its simple design. The article also presents the results of the experimental testing of the device, its cost and additional capabilities.

Key words: Measuring amplifier, filter, microcontroller, LED indication, sound indication, attenuator, circuit.

Введение

Электронные измерительные устройства довольно часто используются в нашей жизни. Основные требования, предъявляемые к таким устройствам это точность измерения, диапазон измеряемых параметров и входное сопротивление.

Соответственно от этого стоимость приборов может варьироваться в очень больших пределах.

В данной работе было разработано одно из таких устройств – измерительный усилитель. Его основное назначение – измерения амплитуды сигнала с детекторной секции. Таким образом поворачивая антенну и снимая показания с устройства, будет возможность получить ее диаграмму направленности (ДН) (рисунок 1).

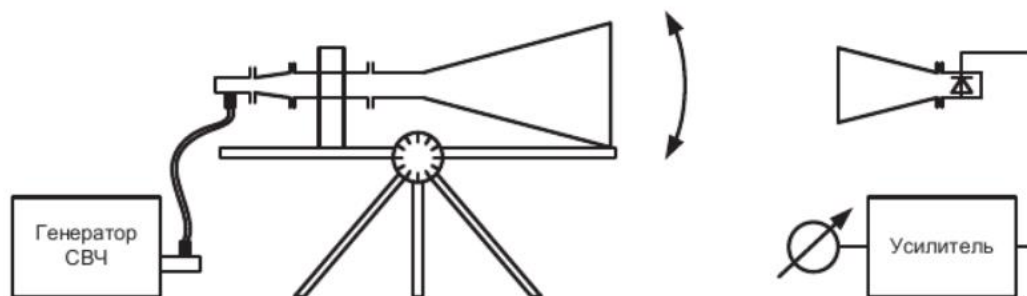


Рисунок 1 – Схема установки для снятия ДН [1]

Данная тема на сегодняшний день не потеряла своей актуальности, так как большинство недорогих измерительных устройств не имеют возможности измерять меандр с частотой 1 кГц, а устройства способные на это имеют ряд недостатков. К таким можно отнести быструю поломку устройств из-за частого и неаккуратного использования, неточность измерения, нет возможности установить нуль на заданной амплитуде и относительно нее снимать показания. Применение же более дорогих устройств было бы нерационально.

В качестве метрологического обеспечения в работе использовалась бесплатная *demo* версия программы *Splan* [2] и *Sprint-Layout* [3]. Для программирования и прошивки микроконтроллера было использовано программное обеспечение *Arduino IDE*, предоставляется под общедоступной лицензией *GNU* версии два [4]. При проведении тестирования был использован генератор произвольных сигналов *HMF2550*.

Выбранные решения

По широте и эффективности применение микропроцессоров одно из первых мест занимает контрольно-измерительная техника. Использование микропроцессоров в измерительной технике позволило во много раз повысить точность приборов, значительно расширило их функциональные возможности, упростило управление работой, повысило надежность, быстродействие [5]. Поэтому за основу разработки лабораторного усилителя был использован наиболее распространённый микроконтроллер *ATmega2560* из серии *AVR*.

На рисунке 2 представлена структурная схема измерительного усилителя.

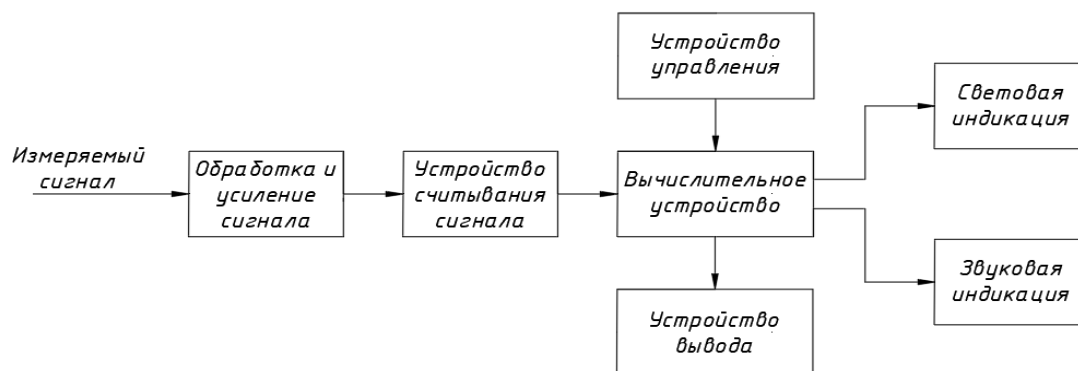


Рисунок 2 – Структурная схема усилителя

Как можно увидеть из структурной схемы на рисунке 2, первичная обработка измеряемого сигнала осуществляется в первом блоке куда поступает сигнал положительной или отрицательной полярности. В него входят фильтр верхних частот (ФВЧ) и фильтр нижних частот (ФНЧ). В качестве ФНЧ был выбран фильтр Баттерворта второго порядка [6] для подавления высокочастотных помех с частотой, превышающей 15 кГц. ФВЧ необходим для того, чтобы не пропускать возможные сетевые наводки частотой 50 Гц, а также постоянную составляющую напряжения. На рисунке 3 емкость $C1$ совместно с резистором $R1$ образуют ФВЧ.

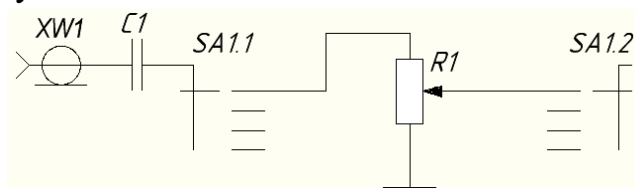


Рисунок 3 – электрическая схема ФВЧ

Подстроечное сопротивление на рисунке 3 можно также представить как аттенуатор [7]. Каждое такое сопротивление, подключаемое к галетному переключателю $SA1$ это делители настроенные на определенные коэффициенты деления (в данном случае на 0, 3, 6 и 10 дБ). Данное схемотехническое решение обеспечивает постоянное высокое входное сопротивление. Таким образом если входной сигнал “слабый”, то сама схема устройства не будет оказывать на него влияния, и он не исказиться.

После ФВЧ была подключена схема ФНЧ второго порядка через согласующий каскад. Данный каскад был выполнен на операционном усилителе (ОУ) $DA1.1$ (рисунок 4).

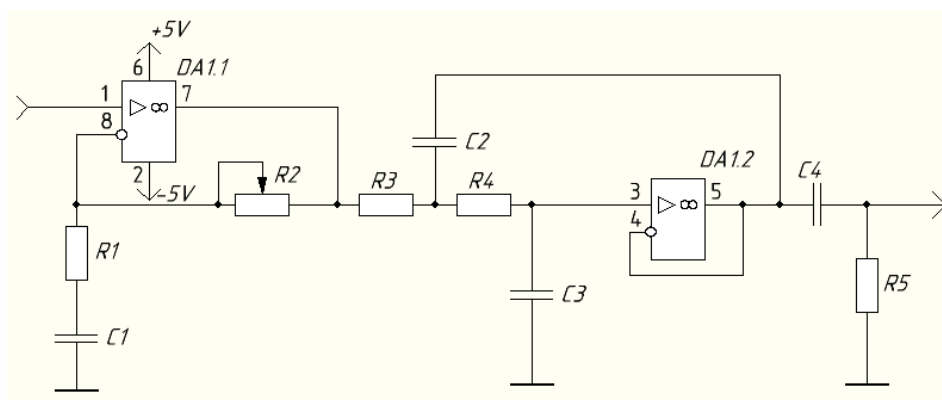


Рисунок 4 – Схема согласующего каскада с ФНЧ

Резистор $R2$ на рисунке 4 предназначен для подстройки коэффициента усиления входного сигнала, а резистор $R5$ устанавливает сигнал на центр относительно его максимума и минимума.

Для того чтобы выделить амплитуду двух полярного сигнала, полученного после фильтров, была использована схема амплитудного детектор (АД). Его схема была взята из источника [6]. В схемах при сборке устройства использовались прецизионные ОУ *OP727ARZ*. Отрицательное питание для ОУ было получено при помощи инвертора *ICL7660*. Это в свою очередь позволило избавиться от искажений сигнала.

Уже выпрямленный сигнал затем подается на блок устройства считывания (согласно рисунку 2), который представляет собой аналого-цифровой преобразователь (АЦП). В ходе работы было решено, что можно обойтись встроенным в микроконтроллер 10 битным АЦП [8], установив опорное напряжение 2,048 В. При этом расчеты показали, что его вполне хватает чтобы считывать напряжение из диапазона входного сигнала (от 10 мВ до 2 В) с максимальной возможной погрешностью в 2 мВ.

Считанное и обработанное значение микроконтроллером поступает на устройство вывода, а именно на обычный *LCD 16x2* дисплей. Это же значение поступает на блок световой индикации или линейку из 10 светодиодов и при помощи математических операций преобразуется в значение от 0 до 2550 (полученное при умножении максимального значение ШИМ сигнала, подаваемого на один светодиод на количество установленных светодиодов). С помощью цикла происходит последовательное включение нужных светодиодов до полного заполнения соответствующего светодиода. Данное решение позволило увеличить информативность по сравнению с аналогами.

Устройство управления подразумевает собой кнопку *PBS-10B* и модуль энкодера *KY-040*, с помощью которого будет производится настройка прибора (включение или отключение звука, света или программной корректировки нуля при необходимости).

Для вывода звукового сигнала была сделана программная реализация генератора, управляемого напряжением (ГУН). Этот сигнал с определенной частотой подается на транзисторный ключ, который уже управляет динамиком.

Собранный измерительный усилитель показан на рисунке 5.



Рисунок 5 – Собранный измерительный усилитель

Результаты

В ходе экспериментальных исследований была снята Амплитудная и амплитудно-частотная характеристика устройства. Результаты, снятые при положительном и отрицательном меандре, совпали. Максимальная погрешность при тестировании оказалась равной 0,006 Вольт при измерении сигнала меньше 1 вольта. Скорее всего нелинейность вызвана диодами в амплитудном детекторе и применение диодов с малой утечкой типа ID101. При использовании в качестве диодов переходы затвор-исток полевых транзисторов можно было бы минимизировать погрешность. Все остальные значения были измерены безошибочно с погрешностью, не превышающей погрешность АЦП. Частота среза фильтров из-за подстройки коэффициента усиления составила 15.6 кГц для ФНЧ, а для ФВЧ 10 Гц. Что не является критичным, потому что сетевых наводок не было обнаружено. Данную проблему можно было бы решить установкой ФВЧ большего порядка. Также в эксперименте было выяснено что устройство еще нуждается в доработке фильтра по питанию так как не все источники с напряжением +5 В могут выдавать стабильное напряжение. Стоит дополнительно установить на вход первого ОУ защиту от статического напряжения в виде двух диодов. В качестве функционала усилителя можно добавить регулировки громкости звучания и отображение на экране выбранного коэффициента ослабления аттенюатора.

После сборки устройства были подсчитаны затраты на его изготовление. Таким образом стоимость составила 6329 руб. В рассчитанную цену усилителя вошла цена времени, затраченного на сборку, затраты на электроэнергию и расходы на детали. Сравнив изготовленный усилитель с похожими устройствами типа ВЗ-38А, GVT-417, ВЗ-71, У2-8 был сделан вывод что устройство получилось раза в 2 или 3 дешевле аналогов.

Библиографический список

1. Расчет и измерение характеристик устройств СВЧ и антенн : учеб. пособие / Ю.Е. Мительман, Р.Р. Абдуллин, С.Г. Сычугов, С.Н. Шабунин ; под общ. ред. канд. техн. наук, доц. Ю.Е. Мительмана. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 140 с.
2. Официальный сайт компании AVACOM [Электронный ресурс] / Программное обеспечение sPlan 7.0. – URL: <https://www.electronic-software-shop.com/splan-70.html?language=en> (дата обращения: 26.09.2021).
3. Официальный сайт компании AVACOM [Электронный ресурс] / Программный пакет для проектирования печатных плат Sprint-Layout. – URL: <https://www.electronic-software-shop.com/sprint-layout-60.html?language=en> (дата обращения: 26.09.2021).
4. Официальный сайт *Arduino* [Электронный ресурс] / Программное обеспечение Arduino IDE. – URL: <https://www.arduino.cc/en/software> (дата обращения: 26.09.2021).
5. Мирский Г. Я. Микропроцессоры в измерительных приборах / Г. Я. Мирский. – Москва : Радио и связь, 1984. – 160 с.
6. Пейтон А. Дж. Аналоговая электроника на операционных усилителях / А. Дж. Пейтон, В. Вольш. – Москва : Типография «Красный Октябрь», 2001. – 116 с.
7. Сайт *All about Circuits* [Электронный ресурс] / Attenuators. – URL: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-1/attenuators/> (дата обращения: 26.09.2021).
8. Техническая документация микроконтроллера ATmega2560 [Электронный ресурс] / Производитель Atmel. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/436/DOC005436726.pdf> (дата обращения: 26.09.2021).